

超電導マグネットを用いた強磁化プラズマ発生装置

(ULMAP-FU-I) の試作 II

出 原 敏 孝、※ 富 田 直 良、※ 印 牧 知 広、※
八 木 寿 郎、※ 石 田 美 雄 ※

Experiments on the Ultra Highly Magnetized Plasma Device (ULMAP-FU-I)

Using a Superconducting Magnet II

Toshitaka IDEHARA, Naoyoshi TOMITA, Tomohiro KANEMAKI,

Hisao YAGI and Yoshio ISHIDA

(Received Jan. 14, 1980)

The highly magnetized plasma device (ULMAP-FU-I) reported previously, is improved. As a result, the value of the maximum field strength becomes larger and the operation time much longer. Parameters of the plasma placed in new conditions are tabulated and future plans of studies using the device are described briefly.

1 序 論

先に報告したように、⁽¹⁾ ⁽²⁾ われわれは超電導マグネットによって発生した強磁場をプラズマに印加して強磁化プラズマを発生させる装置 (ULMAP-FU-I) を試作し、その性能を調べてきた。その後、若干の改良を加え、本装置の完成をみたので、ここに報告する。次節には、主な改良点と改良にともなう諸パラメーターの変更について述べる。三節には、本装置をプラズマ物理および核融合の研究に応用した場合の利点と研究課題について述べ、これに関連して装置のスケール・アップの必要性を述べる。

2 装置の改良と諸パラメーターの改善

2-1 超電導マグネットの改良

前回の報告では、⁽²⁾ 試作した十個のコイルの内、二個が不調であったため、八個のコイ

※応用物理学科

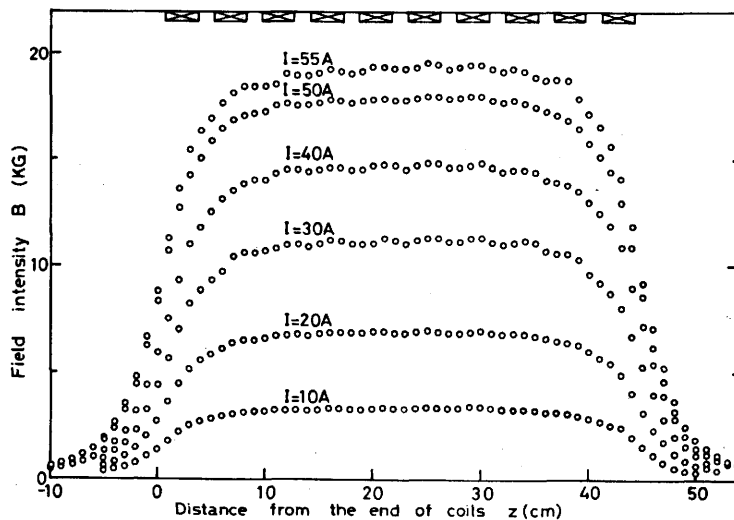


図1 コイル電流 I をパラメーターとした磁場強度の空間分布

ルによる実験しかできなかった。このため、磁場の一様性は中心軸上 20 cm にわたって変動率 5 % 以下で、最大磁場強度もコイル電流 50 A のとき、17.5 kG にとどまった。今回は不調な二個のコイルを整備し十個のコイルがすべて使用できるようにした。図 1 には、かくして得られた磁場の強度の空間分布が、コイル電流 I をパラメーターとして示されている。中心軸上 30 cm にわたって変動率 3 % 以下の比較的一様性のよい空間分布が得られた。また、コイルのトレーニング効果により、最大許容電流 I_{\max} も 50 A から 57 A に増加し最大磁場強度 B_{\max} は 20.2 kG となった。

2-2 リード線の改良による作動時間の延長

超電導マグネットへ通電するためのリード線の熱伝導による熱の侵入と通電中のジュール損失による発熱は、クライオスタット内の L-He の蒸発量に多大の影響を及ぼす。銅の電気抵抗の温度依存性と L-He 層内の温度分布を考慮して、70 A の通電に耐え、熱伝導を極力抑えたリード線を製作した。図 2 は、リード線の概略図を示す。各部分は、冷却効率のよい銅の編線よりなる。このリード線に超電導線を一本沿わせて、ジュール損失による発熱を防いでいる。この結果、リード線による熱の侵入、

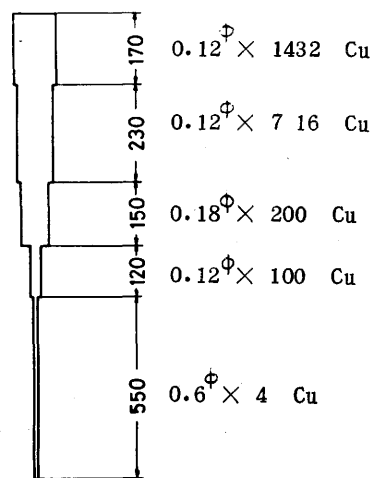


図2 リード線の概略図

及び発熱が極端に少なくなり、連続通電時間を 13 時間に延長することができた。図 3 は、コイルの下端からの距離 z がそれぞれ 0, 45, 80, 100, 115 cm である点に置かれた五つの抵抗温度計によって測定された温度の時間変化を示している。マグネットの上端 ($z = 45$ cm) にある抵抗温度計 (Δ 印) の測定値より、L-He がこの点をきる時刻が通電後 12 時間でありさらに約 1 時間通電可能であることがわかる。図 4 は、各時刻における L-He 層内の温度分布を示している。この温度分布は、最終的に、リード線的设计を行う際に、用いられた。

2-3 プラズマのパラメーター
プラズマは、Ar 及び He 気体中の直流放電によってつくられた。図 5 は、コイルのほぼ中心の点における ($z = 21.5$ cm) プラズマ密度 n_p の放電電流 I_d に対する依存性を、磁場強度 B をパラメーターとして、示したものである。

n_p は、ほぼ I_d に比例して増加する。図 6 は、プラズマ密度の空間分布を磁場強度の分布とともに示したもので、一様磁場の領域で密度もほぼ一様となっている。一方、電子温度 T_e は空間的に一様であり、放電電流に対する顕著な依存性はなく、1 - 3 eV の範囲にあった。主なプラズマ・パラメーターの可変範囲が表 1 にまとめられている。

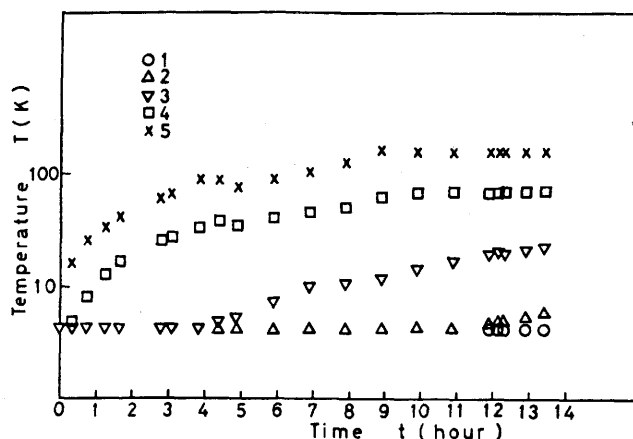


図 3 L-He 層内の温度の時間変化

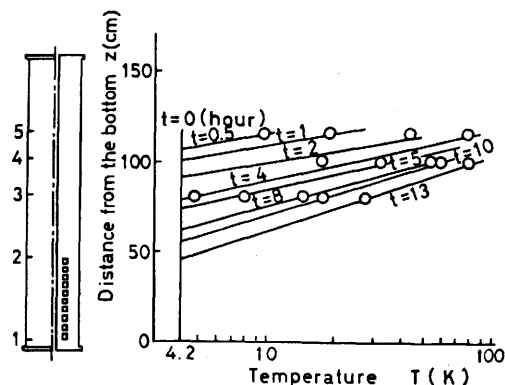


図 4 L-He 層内の各時刻における温度分布

表 1 プラズマ・パラメーターの可変範囲

ガス圧	$p = 1.5 \sim 1.6 \times 10^{-3}$ Torr
磁場強度	$B = 0 \sim 20.2$ kG
磁場の一様性	30 cm にわたって 3 % 以下
電子サイクロトロン周波数	$f_{ce} = 0 \sim 56.6$ GHz
イオン・サイクロトロン周波数	$f_{ci} = 0 \sim 770$ kHz (Ar) $0 \sim 7.7$ MHz (He)
プラズマ密度	$n = 1.92 \times 10^9 \sim 7.84 \times 10^{11}$ cm $^{-3}$
電子プラズマ周波数	$f_{pe} = 390$ MHz ~ 8.0 GHz
電子温度	$T_e = 7.6 \times 10^3 \sim 3.3 \times 10^4$ K
イオン温度	$T_i \cong 10^3$ K
デバイ長	$l_d = 1.2 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-2}$ cm
イオンの平均ラーマー半径	$r_i = 4.5 \times 10^{-3}$ cm

3 本装置の特長及び今後の計画

本装置は、パルスのではなく、定常的に強磁場をプラズマに印加するものである。ここに得られた磁場強度の値は、定常磁場に関する限り、常伝導空心コイルでは実現が困難な値である。しかも、消費電力が極めて少ないことを考えると、超電導マグネットをプラズマ発生装置に用いる本装置の方式は従来からの方式に比べて利点が多く、将来の大型プラズマ実験装置は、この方式に切り換える必要があるように思われる。

定常的に強磁化プラズマを発生することができる点を考慮して、本装置では、以下に示す研究課題の遂行が可能である。

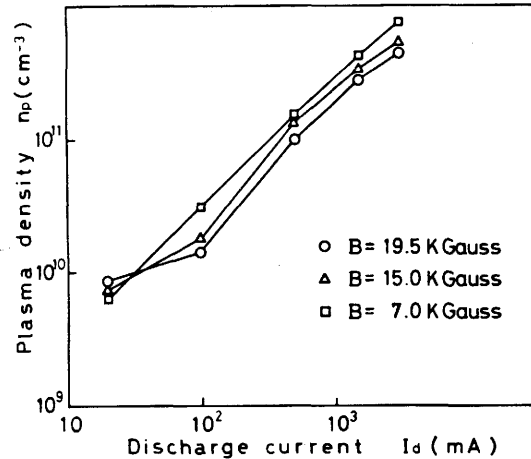


図 5 プラズマ密度の放電電流依存性

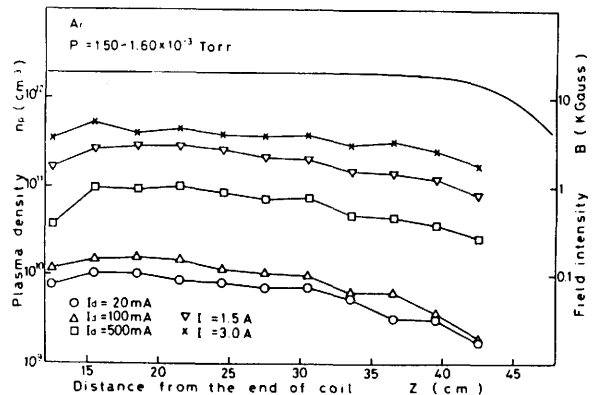


図 6 プラズマ密度の空間分布

3-1 核融合炉心プラズマの追加熱のモデル実験

現在最も有望視されている磁場閉じ込め方式の核融合炉においては、100 kG 以上の強磁場が炉心プラズマに印加される。しかも、炉の発火点に到るためには、高エネルギー粒子ビームの入射による加熱、大出力波動による加熱等、何らかの追加熱が必要であるとされている。本装置を用いれば、強磁場下におけるプラズマの加熱の方式を追究することができる。これはまた、炉心プラズマの追加熱のモデル実験としての意義をもつ。特に、大出力波動による加熱の実験的研究を本装置で行う。

3-2 新しいプラズマ・パラメーターの領域でのプラズマ物理の研究

現在までに、ほとんど研究が行われていないプラズマ・パラメーターの領域、即ち、イオンの平均ラーマー半径 r_i がデバイ長 l_d より小さくなる領域やイオンのサイクロトロン周波数 f_{ci} が電子プラズマ周波数 f_{pe} より大きくなる領域の実現が可能である。このような領域でのプラズマ物理の研究は、未知の領域として興味があり、プラズマ物理の体系化に寄与できる研究課題として意義がある。表 1 より、 $r_i < l_d$ なる領域は実現しているが、 $f_{ci} > f_{pe}$ なる領域は実現されていない。

今後、本装置を用いて、これらの研究を行うとともに、本装置で実現できない領域を補うため、さらに磁場強度の大きい装置を試作する計画である

本装置の試作にあたり、御協力いただいた本学部附属超低温物性実験施設の立川敏明氏に謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 出原敏孝、八木寿郎、石田美雄： 福井大学工学部研究報告 第 26 巻 第 1 号
昭和 53 年 3 月 pp 57～66.
- (2) 出原敏孝、印牧知広、八木寿郎、石田美雄： 福井大学工学部研究報告 第 27 巻
第 1 号 昭和 54 年 3 月 pp 129～141.

